

УДК 625.721:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.10>

Мусієнко І. В.

к.т.н., доцент кафедри проєктування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0001-5455-2335

ПРОГРАМНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ТРАСУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ – ГНУЧКИЙ БРАСЛЕТ: ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТРАСИ В ПЛАНІ

Анотація. *Вступ.* Традиційні методи трасування автомобільних доріг, що базуються на принципах тангенціального проєктування, мають суттєві обмеження: надмірна кількість довгих прямих та малих кривих, складність забезпечення оптимальних геометричних параметрів. Незважаючи на розвиток САД-систем, проблема створення відкритих наукових методів оптимізації трасування залишається невирішеною, оскільки комерційні продукти використовують закриті алгоритми.

Мета роботи. Програмна реалізація етапу формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані із застосуванням методу гнучкого браслета, розробленого автором у 2012 році як альтернативу полігональному трасуванню.

Матеріали та методи. Використано метод гнучкого браслета, який моделює трасу як ланцюг з'єднаних прямокутників із співвідношенням сторін за золотим перетином ($\phi = 1,618$). Програмна реалізація здійснена в середовищі Windows Forms на мові C#. Застосовано математичний апарат подібного перетворення для трансформації координат між внутрішньою системою програми та геодезичною системою Гауса-Крюгера. Розроблено алгоритми визначення координат центрів сегментів, розрахунку дирекційних кутів, відстаней та кутів повороту.

Результат. Створено повноцінний програмний комплекс, що включає сім етапів розвитку: від концептуальних основ до практичного інструменту. Реалізовано функціонал інтеграції з топографічними даними, систему геоприв'язки через калібрування за трьома опорними точками, автоматизоване формування табличних даних з геометричними параметрами траси. Розроблений алгоритм забезпечує точність трансформації координат та автоматичне генерування звіту з координатами вершин, дирекційними кутами, відстанями та кутами повороту.

Висновки. Запропонований підхід забезпечує перехід від візуального моделювання до кількісних розрахунків параметрів траси, створюючи основу для подальшого застосування оптимізаційних алгоритмів, зокрема методу максимальних радіусів. Практична значущість полягає у можливості використання розробленого інструментарію у виробничій практиці проєктування автомобільних доріг.

Ключові слова: *трасування автомобільних доріг, метод гнучкого браслета, комп'ютерно-системне проєктування, геометричні параметри траси, дирекційні кути, кути повороту, геоприв'язка, трансформація координат, оптимізація траси, САПР автомобільних доріг.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури особливої актуальності набуває проблема підвищення якості та ефективності трасування автомобільних доріг. Традиційні методи, що базуються на принципах тангенціального трасування, мають суттєві обмеження: надмірна кількість довгих прямих

та малих кривих, складність забезпечення оптимальних геометричних параметрів і обмежена інтеграція з оптимізаційними алгоритмами. Це призводить до погіршення експлуатаційних характеристик доріг, що проєктуються, зниження рівня безпеки руху та збільшення витрат на будівництво і утримання.

Аналіз останніх досліджень. За останні десятиліття комп'ютерні технології суттєво трансформували підходи до проектування автомобільних доріг. Було здійснено перехід від автоматизації обчислювальних процедур і креслярських операцій до впровадження інтелектуальних систем, орієнтованих на використання оптимізаційних алгоритмів [1–2]. Утім, попри значні досягнення у сфері CAD-систем, проблема створення та впровадження відкритих наукових методів оптимізації трасування в плані залишається невирішеною [3–4]. Більшість сучасних комерційних програмних продуктів (зокрема, Trimble Quantm [5], Softree Optimal [6]) використовують закриті алгоритми, що обмежує можливості їх академічного аналізу та відтворення.

Аналіз останніх досліджень свідчить, що одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є метод гнучкого браслета (Flexible Bracelet Method, FBM), розроблений автором у 2012 році [7]. У попередніх роботах було:

- сформульовано ідеологію комп'ютерно-системного (одноваріантного) проектування доріг [8];
- розроблено фізичну та математичну модель гнучкого браслета як альтернативу принципу полігонального трасування [7];
- створено перші програмні прототипи з можливістю побудови та маніпулювання ланцюгами сегментів браслета [9];
- реалізовано функцію визначення координат середин сегментів для подальшого розрахунку параметрів траси;
- апробовано метод максимальних радіусів як складову алгоритмів трасування [10].

Попередні публікації заклали підґрунтя для формування цілісного програмного комплексу, здатного забезпечити не лише ескізне

трасування, але й автоматизований перехід до обчислення параметрів проектної лінії дороги. Наступним логічним кроком є розробка функціоналу для формування вихідних даних у табличній формі, які включають координати, дирекційні кути, довжини відрізків та кути повороту.

Мета роботи. Мета дослідження полягає у програмній реалізації етапу формування вихідних даних для подальшого розрахунку параметрів траси в плані із застосуванням методу гнучкого браслета.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- розробити алгоритм автоматизованого отримання координатних і геометричних параметрів траси за результатами побудови гнучкого браслета;
- створити програмний модуль для формування результатів у табличному вигляді;
- здійснити апробацію розробленого інструментарію на тестових прикладах.

Таким чином, робота є наступним етапом довгострокового дослідження з програмного впровадження методу гнучкого браслета і спрямована на перехід від концептуальних рішень до прикладних інструментів, придатних для використання у виробничій практиці трасування автомобільних доріг.

Результати досліджень. Етапи розвитку методу трасування «гнучкий браслет». Доцільно розділити розвиток методу трасування «гнучкий браслет» на наступні етапи (рис. 1):

- 1) концептуальний етап (2008–2012 рр.);
- 2) перша комп'ютерна реалізація (2013–2015 рр.);
- 3) інструментарій маніпулювання (2016–2018 рр.);
- 4) інтеграція з топографічними даними (2019–2021 р.);



Рис. 1. Етапи розвитку методу трасування «гнучкий браслет»

5) система координат та геоприв'язка (2022–2024 р.);

6) визначення координат центрів сегментів (2025 р.);

7) геометричні параметри траси (2026 р.).

Концептуальний етап: теоретичні основи комп'ютерно-системного підходу. Концептуальний етап характеризувався формуванням теоретичного підґрунтя для нового підходу до автоматизованого проектування автомобільних доріг. Ключовою передумовою стала критична оцінка існуючих методів варіантного проектування, які, незважаючи на використання потужних комп'ютерних засобів, залишалися обмеженими принципами ручного проектування.

Було запропоновано концепцію комп'ютерно-системного підходу, що базувався на фундаментальному припущенні про існування єдиного оптимального рішення для заданої комбінації початкових критеріїв [8]. На відміну від традиційного варіантного проектування, де інженер розробляє декілька альтернативних варіантів траси і вибирає найкращий, новий підхід передбачав математичне визначення оптимального рішення через систему цільових функцій та обмежень.

Теоретичною основою слугувала теорія систем та методи математичної оптимізації. Автор визначив, що головним інтегральним критерієм має бути мінімізація довжини траси при дотриманні геометричних, ситуаційних та рельєфних обмежень. Цей критерій природним чином забезпечує дотримання вимог економічності (зменшення капітальних витрат), екологічності (мінімізація впливу на навколишнє середовище) та частково безпеки руху [8].

Етап первинної комп'ютерної реалізації: від концепції до програмного інструменту.

Перехід від теоретичних положень до практичної реалізації потребував розробки адекватної математичної моделі та відповідного програмного забезпечення. На цьому етапі було створено первинний прототип програми, що реалізував базові принципи методу гнучкого браслета [7].

Фундаментальною ідеєю стало використання дискретної моделі траси у вигляді ланцюга з'єднаних геометричних елементів – прямокутників з відношенням сторін згідно золотого перетину ($\phi = 1,618$). Вибір такого відношення обґрунтовувався естетичними та психофізіологічними принципами сприйняття просторових форм (рис. 2).

Програмна реалізація здійснювалася у середовищі Windows Forms з використанням мови програмування C#. Базова функціональність включала [9]:

- створення ланцюга сегментів довільної довжини;
- задання параметрів сегментів (довжина короткої сторони, розмір з'єднувальних ланок);
- візуалізацію браслета в графічному вікні;
- первинні засоби маніпулювання структурою.

Розвиток інструментарію маніпулювання: моделювання фізичної поведінки. Третій етап характеризувався значним удосконаленням можливостей взаємодії користувача з моделлю гнучкого браслета. Було реалізовано два принципово різних режими керування, що моделювали різні аспекти фізичної поведінки гнучкої структури.

Режим локального керування (Ctrl + клік на сегменті з затриманням) забезпечував можливість обертання окремих сегментів навколо точок з'єднання. Математично це реалізува-

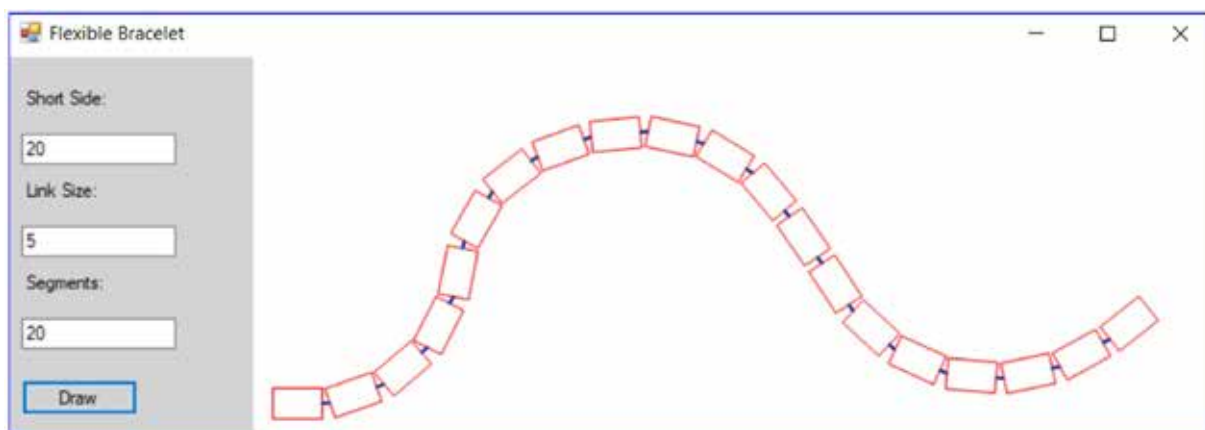


Рис. 2. Початок програмної реалізації методу трасування «гнучкий браслет»

лося через обчислення нового кута повороту сегмента. Критичним елементом стало введення геометричних обмежень для запобігання перетину сегментів:

$$\sin \Theta \leq 2 \frac{l}{s}, \quad (1)$$

де Θ – кут повороту;
 l – довжина з'єднувальної ланки;
 s – ширина сегмента.

Режим глобального керування (Shift + клік на сегменті з затриманням) моделював поведінку браслета як цілісної фізичної системи. Алгоритм включав:

- визначення напрямку руху захопленого сегмента;
- послідовне переміщення суміжних сегментів до граничних положень;
- каскадне поширення руху по всій структурі;
- контроль відсутності колізій між елементами.

Інтеграція з топографічними даними: перехід до практичного застосування. Четвертий етап ознаменував перехід від абстрактного моделювання до практичного інструменту проектування через інтеграцію з реальними картографічними даними. Було реалізовано можливість завантаження растрових зображень топографічних карт у форматах .bmp, .jpeg та їх використання як підоснови для трасування.

Технічна реалізація включала:

- модуль завантаження та відображення растрових зображень;
- систему масштабування та позиціонування підоснови;
- засоби накладання браслета на топографічну карту;
- візуальний контроль відповідності траси ситуаційним та рельєфним умовам.

Цей етап забезпечив принципово новий рівень взаємодії з реальними проектними умовами, дозволивши користувачу враховувати існуючі об'єкти, рельєф місцевості та інші фактори при формуванні ескізної лінії траси.

Розробка системи трансформації координат: перехід до геодезичних координат. П'ятий етап вирішив критично важливу задачу переходу від внутрішньої системи координат програми до реальної геодезичної системи координат. Було досліджено декілька підходів до трансформації координат та обрано подібне

перетворення (similarity transformation) як найбільш адекватне для поставленої задачі.

Математичний апарат трансформації базувався на композиції елементарних операцій:

- масштабування;
- поворот;
- перенесення.

Алгоритм калібрування включав сім послідовних кроків:

- ініціалізація процесу калібрування;
- введення координат трьох опорних точок кілометрової сітки;
- обчислення параметрів трансформації;
- визначення зсуву растру;
- пряме перетворення координат (геодезичні координати (ГК) $\rightarrow$ GDI+);
- обернене перетворення координат (GDI+ $\rightarrow$ ГК);
- верифікація точності трансформації.

Точність трансформації контролювалася через обчислення залишкових похибок для кожної опорної точки та загальної середньоквадратичної похибки.

Визначення координат центрів сегментів: алгоритмічна основа для подальших розрахунків. Шостий етап забезпечив розробку алгоритму точного визначення координат центрів кожного сегмента браслета в геодезичній системі координат. Це стало критично важливим кроком для переходу від візуального моделювання до кількісних розрахунків параметрів траси.

Алгоритм методу GetAllSegmentCenters() реалізував наступну послідовність:

- визначення опорних точок сегментів;
- обчислення кумулятивних кутів;
- визначення центрів сегментів.

Визначення геометричних параметрів траси: формування вихідних даних. Сьомий етап завершив цикл отримання всіх необхідних геометричних параметрів для подальшого застосування оптимізаційних алгоритмів. На цьому етапі було використано математичний апарат для визначення дирекційних кутів, кутів повороту та відстаней між вершинами кутів повороту траси (рис. 3).

Розрахунок дирекційних кутів здійснювався за формулою:

$$\alpha_i = \arctan \left(\frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} \right), \quad (2)$$

де $X_i, X_{i+1}, Y_i, Y_{i+1}$ – координати вершин – кутів повороту.

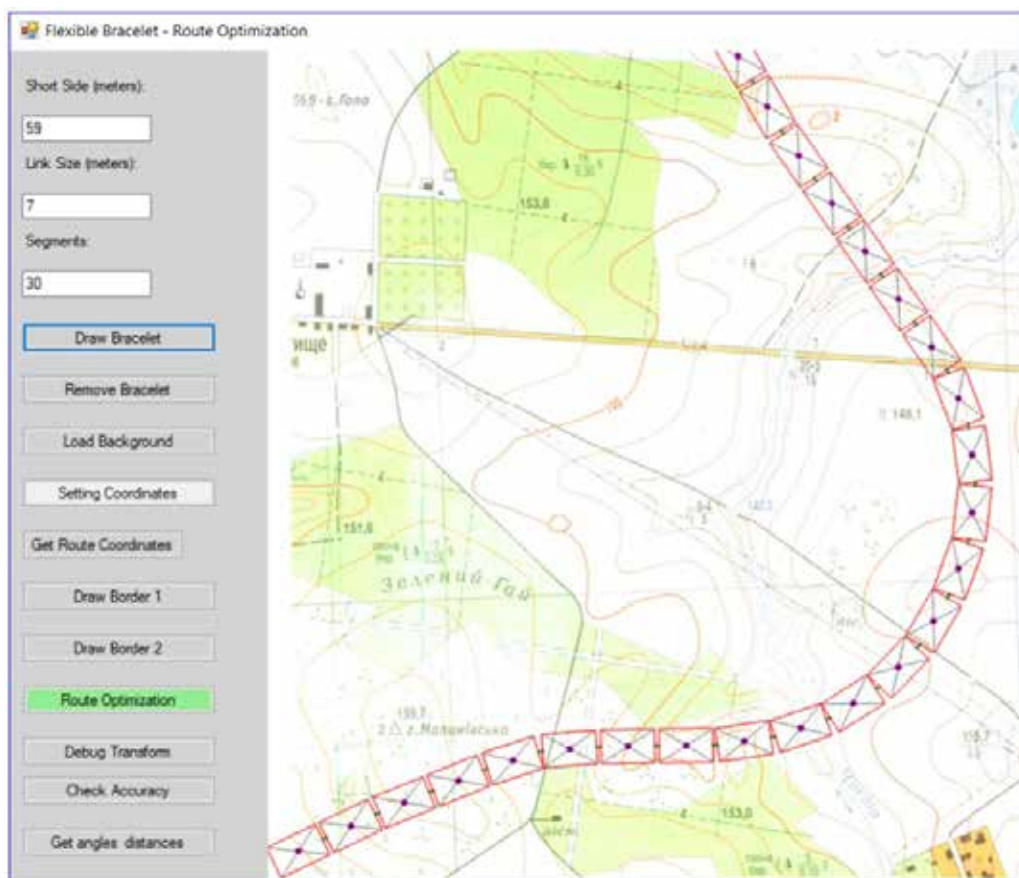


Рис. 3. Поточний вигляд програмної реалізації методу трасування «гнучкий браслет»

Визначення кутів повороту (з урахуванням переходу через $0^\circ/360^\circ$):

$$\Theta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i. \quad (3)$$

Обчислення відстаней між точками:

$$d_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}. \quad (4)$$

Результатом цього етапу стало формування структурованої таблиці даних (рис. 4).

Наукова новизна та практична значущість. Представлений семиетапний розвиток методу гнучкого браслета демонструє послідовну еволюцію від теоретичної концепції до повноцінного програмного інструменту. Наукова новизна полягає у:

- концептуальному рівні: розробка теоретичних основ комп'ютерно-системного підходу до проектування доріг;
- методологічному рівні: створення оригінального методу дискретного моделювання траси через фізичну аналогію;
- алгоритмічному рівні: розробка ефективних алгоритмів трансформації координат та визначення геометричних параметрів;

– прикладному рівні: створення інтегрованого програмного рішення для автоматизованого проектування.

Практична значущість визначається можливістю подальшого застосування отриманих результатів у складі оптимізаційних алгоритмів проектування автомобільних доріг, зокрема методу максимальних радіусів.

Алгоритм функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані. Призначення: функція розраховує дирекційні кути, відстані та кути повороту між сегментами гнучкого браслету, що моделює трасу автомобільної дороги.

Вхідні дані:

- координати центрів всіх сегментів браслету;
- калібрувальні параметри системи координат;
- кількість сегментів (segmentCount).

Алгоритм функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані складається з наступних операцій:

1) ініціалізація та перевірки:

- перевірити наявність намальованого браслету;

ANGLES AND DISTANCES REPORT						
Segment	X (m)	Y (m)	Direction Angle	Distance (m)	Turn Angle	
1	6064572,00	311720,80	-	-	-	
2	6064612,00	311815,00	066°59'23"	102,329	-	
2	6064612,00	311815,00	068°15'02"	102,550	001°15'38"	
3	6064650,00	311910,20				
3	6064650,00	311910,20	070°19'17"	102,452	002°04'16"	
4	6064684,00	312006,70				
4	6064684,00	312006,70	072°21'43"	102,310	002°02'26"	
5	6064715,00	312104,20				
5	6064715,00	312104,20	080°40'04"	101,753	008°18'21"	
6	6064732,00	312204,60				
6	6064732,00	312204,60	089°43'13"	102,407	009°03'09"	
7	6064732,00	312307,00				
7	6064732,00	312307,00	091°23'54"	102,437	001°40'42"	
8	6064730,00	312409,40				

Рис. 4. Звіт по координатам, дирекційним кутам, відстаням та кутам повороту

- перевірити калібрування системи координат;
- створити список для зберігання реальних координат;
- створити заголовок звіту та таблиці;
- 2) отримання координат сегментів:
 - отримати позицію сегмента в глобальних GDI+ пікселях;
 - перетворити в реальні координати;
 - додати координати до списку;
- 3) основний цикл обробки пар точок;
- 4) розрахунок різниць координат;
- 5) розрахунок дирекційного кута:
 - обчислити дирекційний кут у радіанах;
 - перетворити в градуси;
 - привести до діапазону $[0^\circ, 360^\circ]$;
- 6) розрахунок відстані за теоремою Піфагора (формула 4);
- 7) розрахунок кута повороту (формула 3);
- 8) форматування даних:
 - перетворити дирекційний кут у формат градуси – хвилини – секунди (ГХС);
 - перетворити кут повороту у формат ГХС;
- 9) виведення результатів у таблицю;
- 10) оновлення змінних (зберегти поточний дирекційний кут для наступної ітерації);
- 11) завершення:
 - додати примітки до звіту;
 - додати інформацію про калібрування;
 - зберегти звіт у текстовий файл;
 - показати повідомлення про успішне збереження.

Обробка кутів:

- дирекційні кути приводяться до діапазону $[0^\circ, 360^\circ]$;
- кути повороту приводяться до діапазону $[-180^\circ, +180^\circ]$;
- позитивні кути повороту – праві повороти;
- негативні кути повороту – ліві повороти.

Система координат:

- X – напрямок на північ (вісь абсцис);
- Y – напрямок на схід (вісь ординат);
- кути відраховуються від позитивного напрямку осі X за годинниковою стрілкою.

Геодезичні обчислення:

- використовується обернена геодезична задача у спрощеному вигляді;
- враховується специфіка системи координат Гауса-Крюгера;
- забезпечується послідовність обчислень від першого до останнього сегмента.

Контроль якості:

- перевірка вхідних даних на коректність;
- валідація результатів калібрування;
- обробка граничних випадків (перша/остання пара точок).

Схема алгоритму функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані наведена на рисунку 5.

Висновки. У результаті проведеного дослідження успішно реалізовано програмне впровадження методу трасування автомобільних доріг «гнучкий браслет» з формуванням вихідних даних для розрахунку параметрів

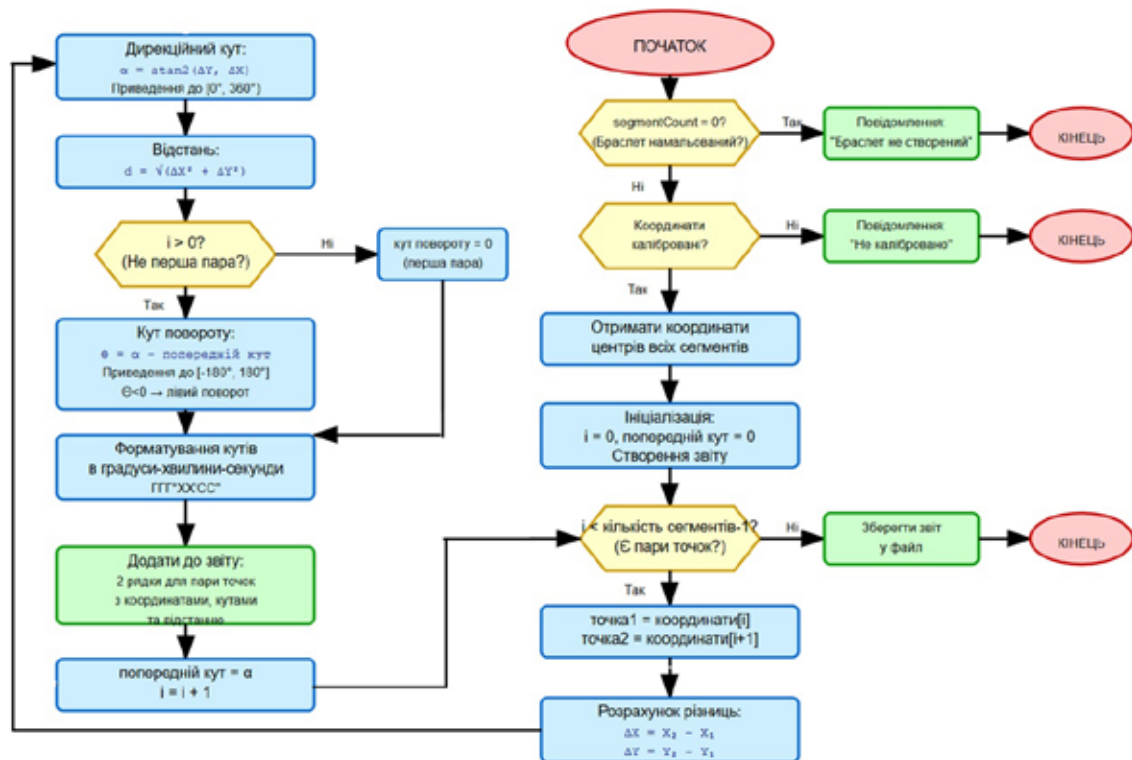


Рис. 5. Схема алгоритму функції формування вихідних даних для розрахунку параметрів траси в плані

траси в плані. Розроблений програмний комплекс пройшов еволюцію від концептуальних теоретичних основ комп'ютерно-системного підходу до повноцінного інструменту проектування, що включає сім послідовних етапів розвитку.

Основними досягненнями програмного комплексу є створення інтегрованої системи, яка забезпечує: моделювання траси через фізичну аналогію гнучкої структури з використанням сегментів із співвідношенням сторін за золотим перетином; інтеграцію з топографічними даними через завантаження растрових карт; точну геоприв'язку через систему калібрування за трьома опорними точками; автоматизоване визначення координат центрів сегментів у геодезичній системі Гауса-Крюгера; формування структурованої таблиці вихідних даних з координатами вершин кутів повороту, дирекційними кутами, відстанями між вершинами та кутами повороту траси.

Розроблений алгоритм забезпечує перехід від візуального ескізного трасування до точних кількісних розрахунків, створюючи надійну основу для подальшої оптимізації геометричних параметрів проектної лінії. Практична цінність полягає у створенні відкритого наукового методу, на відміну від закритих алгоритмів комерційних програмних продуктів, що дозволяє здійснювати академічний аналіз та вдосконалення методології.

Першочерговими завданнями подальших досліджень є впровадження методу максимальних радіусів для оптимізації параметрів кривих у плані та автоматизоване формування відомості прямих, кривих та кутів повороту траси. Це дозволить завершити повний цикл проектування траси в плані та забезпечити перехід від ескізного трасування до остаточного проектного рішення, придатного для безпосереднього використання у виробничій практиці проектування автомобільних доріг.

Література

1. Lopes E., Menezes R., Silva T., Pitanga H., Santos A., Ferraz A. Comparative study of software for road geometric design. *Acta Scientiarum. Technology*. 2019. Vol. 41. P. 36959. DOI: 10.4025/actascitechnol.v41i2.36959
2. Biancardo S.A., Viscione N., Cerbone A., Dessì E. Jr. BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls. *Infrastructures*. 2020. Vol. 5. No. 59. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>.
3. Zhang T., Gao Y., Gao T., Schonfeld P. M., Wu Y., Zhu Y., Yang S., Wang P., He Q. A sequential exploration algorithm for the design optimization of horizontal road alignment. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2023. Vol. 38, No. 15. P. 2049–2071. DOI: <https://doi.org/10.1111/mice.12990>
4. Sushma M. B., Maji A. A modified motion planning algorithm for horizontal highway alignment development. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2020. Vol. 35, No. 8. P. 818–831. DOI: <https://doi.org/10.1111/mice.12534>
5. Petroglyph Projects. Official Website. URL: <https://www.petroglyphprojects.com/software-solutions/quantm/> (дата звернення: 25.03.2026).
6. Softree. Official Website. URL: <https://www.softree.com/products/optimization> (дата звернення: 25.03.2026).
7. Musiienko I. V. The Implementation of Highways Tracing Physical Model – “flexible Bracelet”. *Transbaltica 2015, Procedia Engineering*, 9th International Scientific Conference (Vilnius, 2016). 2016. Vol. 134. P. 366–371.
8. Musiienko I. The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. *Transbaltica 2013. Proceedings of the 8th International Scientific Conference*. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University, 2013. P. 140–142.
9. Мусієнко І. В. Фундаментальні принципи програмної реалізації трасування автомобільних доріг методом гнучкого браслета. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук. пр. Харків : ХНАДУ, 2025. Вип. 108. С. 257–262*. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.257> URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/25131> (дата звернення: 25.03.2026).
10. Musiienko I. Tracing of Highways Using the Maximum Radius Method. *Transport Means 2024 : Proceedings of 28th International Scientific Conference*, Kaunas, Lithuania, 02–04 October 2024. Kaunas, 2024. P. 641–646. DOI: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P641-646>

References

1. Lopes, E., Menezes, R., Silva, T., Pitanga, H., Santos, A., & Ferraz, A. (2019). Comparative study of software for road geometric design. *Acta Scientiarum. Technology*, 41, Article 36959. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i2.36959>
2. Biancardo, S. A., Viscione, N., Cerbone, A., & Dessì, E., Jr. (2020). BIM-based design for road infrastructure: A critical focus on modeling guardrails and retaining walls. *Infrastructures*, 5(7), Article 59. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>
3. Zhang, T., Gao, Y., Gao, T., Schonfeld, P. M., Wu, Y., Zhu, Y., Yang, S., Wang, P., & He, Q. (2023). A sequential exploration algorithm for the design optimization of horizontal road alignment. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 38(15), 2049–2071. <https://doi.org/10.1111/mice.12990>
4. Sushma, M. B., & Maji, A. (2020). A modified motion planning algorithm for horizontal highway alignment development. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(8), 818–831. <https://doi.org/10.1111/mice.12534>
5. Petroglyph Projects. (n.d.). *Quantm software solutions*. Retrieved March 25, 2026, from <https://www.petroglyphprojects.com/software-solutions/quantm/>
6. Softree. (n.d.). *Road alignment optimization software*. Retrieved March 25, 2026, from <https://www.softree.com/products/optimization>
7. Musiienko, I. V. (2016). The implementation of highways tracing physical model – “flexible bracelet”. *Procedia Engineering*, 134, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.021>
8. Musiienko, I. (2013). The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. In *Transbaltica 2013: Proceedings of the 8th International Scientific Conference* (pp. 140–142). Vilnius Gediminas Technical University.
9. Musiienko, I. V. (2025). Fundamentalni pryntsypy prohramnoi realizatsii trasuvannia avtomobilnykh dorih metodom hnuchkoho brasleta [Fundamental principles of software implementation of highways tracing by the flexible bracelet method]. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 108, 257–262. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.108.0.257>
10. Musiienko, I. (2024). Tracing of highways using the maximum radius method. In *Transport Means 2024: Proceedings of the 28th International Scientific Conference* (pp. 641–646). <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P641-646>

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE FLEXIBLE BRACELET METHOD FOR HIGHWAY ALIGNMENT: FORMATION OF INPUT DATA FOR CALCULATING ROUTE PARAMETERS IN PLAN

Abstract. *Introduction. Traditional methods of highway alignment based on tangential design principles have significant limitations: excessive number of long straights and small curves, complexity in ensuring optimal geometric parameters. Despite the development of CAD systems, the problem of creating open scientific methods for alignment optimization remains unsolved, as commercial products use closed algorithms.*

Purpose. Software implementation of the stage for forming initial data for calculating horizontal alignment parameters using the flexible bracelet method, developed by the author in 2012 as an alternative to polygonal alignment.

Materials and Methods. The flexible bracelet method is used, which models the route as a chain of connected rectangles with a side ratio according to the golden section ($\varphi = 1.618$). Software implementation is carried out in Windows Forms environment using C#. The mathematical apparatus of similarity transformation is applied for coordinate transformation between the program's internal system and the Gauss-Krueger geodetic system. Algorithms for determining segment center coordinates, calculating directional angles, distances and deflection angles have been developed.

Results. A complete software complex has been created, including seven development stages: from conceptual foundations to a practical tool. Functionality for integration with topographic data, a georeferencing system through calibration using three reference points, and automated formation of tabular data with geometric route parameters have been implemented. The developed algorithm ensures coordinate transformation accuracy and automatic generation of reports with vertex coordinates, directional angles, distances and deflection angles.

Conclusions. The proposed approach ensures the transition from visual modeling to quantitative calculations of route parameters, creating a basis for further application of optimization algorithms, particularly the maximum radius method. Practical significance lies in the possibility of using the developed tools in the industrial practice of highway design.

Key words: highway alignment, flexible bracelet method, computer-system design, horizontal alignment parameters, directional angles, deflection angles, georeferencing, coordinate transformation, route optimization, highway CAD systems.

I. V. Musiienko

Ph.D., Associate Professor at the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv



Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026
 Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії
 відкритого доступу (CC BY 4.0)